

個体間の相互作用を考慮した回遊魚の遡上行動モデルの構築

新潟大学	正会員	紅露一寛
新潟市水道局		工藤琢也
新潟大学大学院	学生会員	村松久志
新潟大学	正会員	阿部和久

1. はじめに

河川の横断構造物に併設される魚道の設計においては、実験を行うか、もしくは類似の環境において実績を上げている形式を採用することが多い。しかし実験には多くの費用を要し、設置地点のわずかな条件の違いで期待通りに機能しない等の問題点が指摘されている。これまで本研究室では、魚道内における回遊魚の遡上行動モデルを構築し、典型的な行動パターンについては再現できることが確認できた¹⁾、個体間の相互作用については考慮されていない。

そこで本研究では、群れ行動の数理モデルである Boid 型モデル²⁾を遡上解析モデル¹⁾に導入し、個体間の相互作用を考慮した泳動解析モデルの構築を試みた。

2. 泳動解析モデル

(1) マルチエージェント法行動選択に基づく

個体ベースモデル

魚の泳動問題は、各個体の泳動速度ベクトルの決定問題に帰着する。本研究では、マルチエージェント法行動選択に基づく個体ベースモデル³⁾(以下 MAIBM)を基本的な泳動解析モデルとして用いる。

図 1 に、MAIBM による、外的刺激から泳動に至るまでのプロセスを示す。各個体は、各個体位置での流れ場の物理刺激を、生体内で受容する刺激強度へと変換する。変換された刺激強度は閾値と比較され、個体は状況を認識・判断する。各状態は状態判断に応じて評価される。各状態にはそれに一対一に対応する行動パターンが設定してあり、評価関数値が最大となる行動を選択し、行動に対応した泳動ベクトルが決定される。本研究では、遡上行動に影響を与える物理刺激として流れ場の圧力、流速、速度勾配、光強度を考える¹⁾。

各行動パターンを決定する評価関数値 U_i は次式により評価する。

$$U_i = P_i(t)u_i \quad (1)$$

$$P_i(t) = (1 - m_i)e_i(t) + m_iP_i(t - \Delta t) \quad (2)$$

ここで、 P_i は行動選択確率、 u_i は各行動の優先に関する重み係数、 m_i は記憶に関する重み係数、 e_i は状況の認識に関する 0 または 1 の 2 値化関数である。

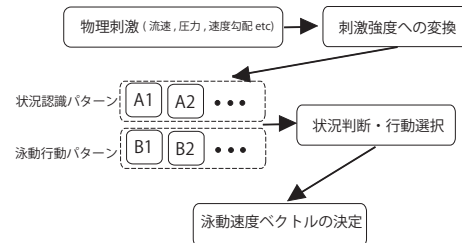


図 1 外的刺激から泳動までの流れ

(2) Boid 型魚群行動モデル

本研究では、前節で述べた MAIBM に、Boid 型魚群行動を組み込み個体間の相互作用を考慮することとした。

文献²⁾の Boid 型魚群行動モデルにおいても、各個体の泳動方向と速さを決定することにより解析を行っている。文献²⁾では、泳動方向を規定する要因として、衝突回避、整列、群れの中心への向心、慣性、遡上指向、気紛れ行動の 6 つを考え、これらの要因による泳動方向を足し合わせ、平均したものを最終的な泳動方向ベクトルとしている。

このうち、個体ベースモデルにおいて考慮されていない衝突回避、整列、群れの中心への向心を群れ行動の行動規則として導入し、気紛れ行動については最終的に得られた泳動速度ベクトルに擾乱を加えることにより導入する。

(3) 群れ行動モデルの IBM への導入

MAIBM では、状況認識・評価に応じて行動パターンを一つ決定するため、文献²⁾の行動規則をそのまま導入することはできない。そこで、本研究では状況認識のパターンと対応する行動パターンを次のように設定し、群れモデルを導入することにした。 A_i は状況認識パターンを示し、 B_i はそれに応じた行動パターンを示している。

A_0 :遡上を認識 → B_0 :流速ベクトルと逆方向に泳動

A_1 :速度変化を感知 → B_1 :流速の小さい方向に泳動

A_2 :壁面接近を感知 → B_2 :流速の大きい方向に泳動

A_3 :圧力変動を感知 → B_3 :順化水深を維持

A_4 :光の刺激を感知 → B_4 :暗い方向へ泳動

A_5 :影響域内に他の個体を感知

→ B_5 :整列、向心運動

A_6 :他の個体との接近を感知

→ B_6 :近づいた個体と離れる

行動の例外規則として、流速ベクトルの方向余弦から感知した下降流が閾値を越えた場合には、 B_0 の遡上行動を優

Key Words: 河川回遊魚、遡上行動、マルチエージェント法、個体ベースモデル、群れ行動

〒 950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐二の町 8050 番地 TEL (025) 262-7274 FAX (025) 262-7274

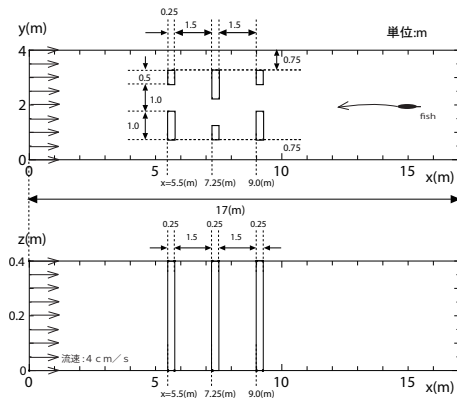


図2 解析領域

先させる．また，光の刺激を感知した場合，圧力変動回避行動に関する記憶の重み係数を0とし，光強度の小さい方向への泳動行動を優先させることで，外敵回避行動を表現する．

3. 解析条件

(1) 流れ場の解析条件

本研究では，魚体の泳動が流れ場に影響を及ぼさないものとして，流れ解析と泳動解析を独立に行う．解析領域を図2に示す．境界条件は流入量が4cm/s，流出は自由流出，上面はslip条件，その他は固定壁となっており，ほぼ定常状態の流れとなっている．領域の中ほどにはスリットのある壁を3つ配置しており，壁後方には渦状の流れが観察される．光強度 $L(t)$ に関しては，領域上面から平面波で差し込むものとして次式で与えた．

$$L(t) = L_0 \exp[-\beta r] \quad (3)$$

ここで， L_0 は光強度の参照値， β は水中の光の散乱による光強度の低減に関する定数， r は領域上面からの距離である．

(2) 個体に関する条件

群れ行動の影響を見るため，個体数を5匹とし，パラメータ u_6 を0.0から1.0まで0.1ずつ変化させ解析を行った(図3)．泳動速度は魚体長(8cm)の3倍とした．それぞれの個体の初期配置は図3中の点で示すように，流出口とスリット壁との中間付近にランダムに決定した(図中の線種の違いは各個体の泳動軌跡を表す)． $\Delta t=0.1(s)$ とし，100秒間の泳動解析を行った．

また，個体数の増減が遡上率に及ぼす影響を検討するため， $u_6=0.65$ に固定し，個体数を1~30まで変化させ時間と遡上する個体数との関係を調べた(図4(a))．妥当性を検討するために，文献²⁾の泳動解析モデルの解析結果(図4(b))と比較する．

4. 解析結果

群れ行動パラメータについての解析結果を図3に示す． $u_6=0.0-0.5$ までは群れ行動が選択されず，同じ行動経路を

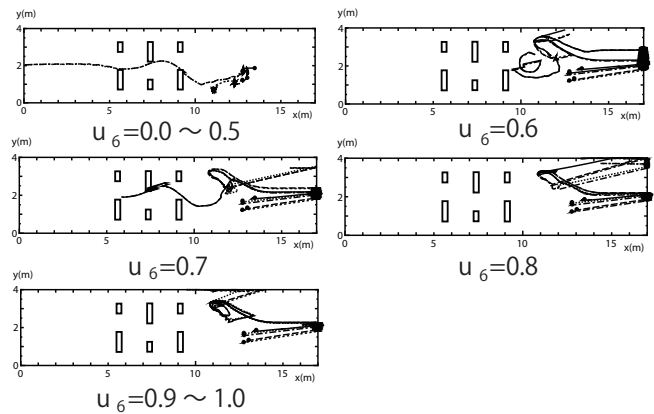


図3 本手法により得られた泳動軌跡(x-y平面)

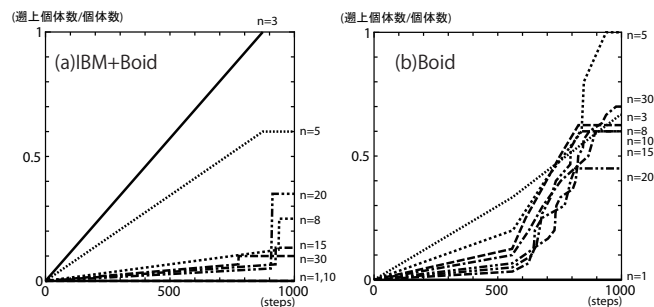


図4 個体数と遡上数の関係

示した．このとき，2匹が遡上に成功し，他の個体は A_2 と A_5 行動を選択し，底面方向へ泳動した． $u_6=0.6$ では，遡上行動 A_0 と群れ行動 A_5 が主に選択され， A_2 もわずかに見られた． $u_6=0.7$ 以上では，遡上行動と群れ行動のみが選択された．

$u_6=0.6$ 以上では遡上に成功する個体が0であったが， $u_6=0.6$ および0.7では群れから離れ遡上する個体が観察された．文献²⁾で指摘されているように，本手法においても群れの維持機構が強く働くと遡上しにくくなる傾向が認められた．

次に，初期個体数の違いによる遡上率の変化を図4に示す．文献²⁾のモデルでは，基本的に個体数が多くなるほど遡上率が低くなる傾向が見られる．一方，MAIBMでは，個体数が多くなるほど遡上率が低くなる傾向は認められるものの，遡上率のばらつきが大きい．これは，IBMでは文献²⁾のように泳動ベクトルを平均化しないため，時々刻々変化する選択行動や泳動行動のゆらぎの影響が強く現れたものと考えられる．

参考文献

- 1) 紅露一寛，梶原宗光，高橋飛鳥，阿部和久：回遊魚の遡上行動を対象としたエージェント法行動選択に基づく個体ベースモデル，計算工学講演会論文集，Vol.13，pp.857-860，2008．
- 2) 橋本麻未，後藤仁志，原田英治，酒井哲郎：Boid型魚群行動モデルに基づく数値魚道の開発，水工学論文集，Vol.49，pp.1477-1482，2005．
- 3) Goodwin, R.A., Nestler, J.M., Anderson, J.J., Weber, L.J., Loucks, D.P.: Forecasting 3-D fish movement behavior using a Eulerian-Lagrangian-agent method(ELAM). *Ecol. Model.*, Vol.192, pp.197-223, 2006.